

УДК 621.791.927

**С. П. РОМАНЮК****РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТОЙ ЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ**

Рассмотрена технология восстановления деталей наплавкой. В качестве модификатора восстановительных покрытий использовали немагнитную составляющую детонационной шихты, полученную от утилизации боеприпасов. Для анализа степени эффективности предложенной технологии сопоставительно проведены комплексные исследования и оценено влияние состава электрода, используемого модификатора на качество сварного шва, переходной зоны, а также структуру металла восстановленного покрытия. Показано, что лучшие результаты достигнуты при обмазке модифицирующей шихтой электрода Т590. Максимальная микротвердость при нагрузке 0,245 Н составила 1498,3 МПа. Это обеспечивает повышение износостойкости модифицированного наплавленного слоя на 17 %.

**Ключевые слова:** высокоуглеродистая легированная сталь, электродуговая наплавка, модифицирование, детонационная шихта, восстановление деталей.

**С. П. РОМАНЮК****РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВІДНОВЛЕННЯ ПОВЕРХНІ ДЕТАЛЕЙ З ВИСОКОВУГЛЕЦЕВОЇ ЛЕГОВАНОЇ СТАЛІ**

Розглянуто технологію відновлення деталей наплавленням. В якості модифікатора відновлювальних покриттів використовували немагнітну складову детонаційної шихти, отриману від утилізації боеприпасів. Для аналізу ступеню ефективності запропонованої технології порівняльно проведені комплексні дослідження і оцінено вплив складу електроду, що використовується, модифікатора на якість зварного шву, перехідної зони, а також структуру металу відновленого покриття. Показано, що найкращі результати досягнуті при обмазці модифікуючою шихтою електрода Т590. Максимальна мікротвердість при навантаженні 0,245 Н складала 1498,3 МПа. Це забезпечує підвищення зносостійкості модифікованого наплавленого шару на 17%.

**Ключові слова:** високовуглецева легована сталь, електродугове наплавлення, модифікування, детонаційна шихта, відновлення деталей.

**S. P. ROMANIUK****DEVELOPMENT OF TECHNOLOGICAL PROCESS FOR RESTORING THE SURFACE OF TOOLS MADE OF HIGH-CARBON ALLOY STEEL**

The technology of restoring by surfacing parts from high-carbon alloy steel is considered. The non-magnetic component of the detonation charge obtained from the disposal of ammunition was used as a modifier of recovery coatings. To analyze the degree of effectiveness of the proposed technology, comprehensive studies were carried out using optical and electron microscopy, X-ray spectral analysis, and microhardness assessment. A comparative study was made of the influence of the composition of the electrode and the used modifier from recycled materials on the quality of the weld, transition zone, and also the metal structure of the reduced coating. It is shown that cracks are formed when surfacing with the T5L11 electrode without a modifier; when using ANO-21, zones with a significant drop in microhardness are present. The features of the distribution of components during surfacing were studied, and stability studies of the properties of the reduced layer with the introduction of a charge were carried out. It was shown that the modifying additive is distributed not only in the deposited layer, but also in the transition layer. The use of additives 2-3 times reduces the width of the transition layer, contributes to greater adhesion. The best results were achieved when coated with a modifying mixture of the T590 electrode. The maximum microhardness at a load of 0.245N was 1498.3 MPa. This provides an increase in wear resistance of the modified deposited layer by 17%.

**Keywords:** high-carbon alloy steel, electric arc surfacing, modification, detonation charge, restoration of parts.

**Введение.** Дороговизна готовых деталей из высоколегированной стали обуславливает необходимость в поиске новых способов восстановления и повышения эксплуатационных характеристик рабочих поверхностей изделий. В машиностроении используют восстановление и упрочнение изношенного слоя деталей наплавкой. Широкое применение получили методы наплавки с модифицированием восстановленного слоя, что позволяет повысить потребительские свойства рабочей поверхности. В качестве модификатора используют различные тугоплавкие компоненты [1, 2], которые позволяют уменьшить размер зерен, повысить механические свойства восстанавливаемого поверхностного слоя. В зависимости от материала и условий эксплуатации детали определяют тип электрода, состав модификатора и параметры технологического процесса [3]. В проведенных ранее работах установлено, что для восстановления и упрочнения изделий, изготовленных из низколегированных и углеродистых марок сталей эффективно применение магнитной составляющей

детонационной шихты с обмазкой электрода [4, 5]. При восстановлении дисперсноупрочненных или со значительным количеством неметаллических включений сталей повышение износостойкости обеспечивает ввод такой модифицирующей присадки в виде шликерного покрытия [6].

Актуальным является в качестве модификатора при наплавке использование и тугоплавких соединений, в т.ч. оксидов, особенно мелкодисперсных и наноразмерных, у которых температура плавления достигает 3100 °С [7].

**Целью работы** является разработка параметров технологического процесса восстановления изношенной поверхности деталей из высокоуглеродистой легированной стали с использованием модифицирования наплавленного слоя.

**Методика проведения исследований.** В данной работе проведено исследование восстановленной поверхности изношенной детали из стали X12,

которая используется для упаковочного инструмента в кондитерском производстве. Такой инструмент в процессе эксплуатации подвергается износу с существенной структурной деградацией рабочей поверхности [8]. Наплавку проводили электродугвым методом при силе постоянного тока 135 А обратной

полярности. Учитывая тот факт, что восстановлению наплавкой подвергали изделия из высокоуглеродистой (2,2 %C) легированной хромом (12,12 %Cr) стали, использовали электроды с различным содержанием этих компонентов (табл. 1), чтобы оценить их наибольшую эффективность.

Таблица 1 – Химический состав электродов

Электроды		Компоненты, %								
Тип	Марка	C	Si	Mn	Cr	Ni	Nb	B	S	P
Э-320Х25С2ГР ГОСТ 10051-75	Т-590	2,9-3,5	2-2,5	1-1,5	22-27	-	-	0,5-1,5	0,035	0,04
Э-08Х20Н9Г2Б ГОСТ 10052-75	ЦЛ-11	0,05-0,12	<1,3	1-2,5	18-22	8-10,5	0,7-1,3	-	0,02	0,03
Э46 ГОСТ 9467-75	АНО-21	0,1	0,3	0,6	-	-	-	-	0,04	0,045

Сопоставительно анализировали качество поверхностного слоя детали, восстановленного наплавкой по следующим вариантам:

- наплавка электродом Т-590 диаметром 4 мм без введения добавок;
- наплавка электродом ЦЛ-11 (d=3 мм) без введения модифицирующих добавок;
- наплавка электродом АНО-21 (d=3 мм) без введения добавок;
- наплавка электродом Т-590 с обмазкой модифицирующей присадкой;
- наплавка электродом АНО-21 с обмазкой модифицирующей присадкой;
- наплавка электродом ЦЛ-11 с обмазкой модифицирующей присадкой.

В качестве модификатора использовали немагнитную составляющую детонационной шихты, отличающуюся более мелкими включениями алмазной фракции, полученной от утилизации боеприпасов. Она включала %: 0,005Na, 0,21Mg, 0,7Al, 0,25Si, 0,002S, 0,02P, 0,36Ba, 0,045Ca, 0,46C, 0,45Cl, 0,013K, 0,06Fe, 2,59O<sub>2</sub>, 0,07Ti, 0,26Cu, 0,15Zn, 0,29Pb, оксиды, нано- и дисперсные алмазы. При этом оптимальное соотношение присадки относительно доли электрода составляет 5-7 %. Это ограничение обусловлено тем, что в шихте присутствуют оксиды и увеличение концентрации которых приводит к появлению пор и газовых пузырей в наплавленном слое (рис. 1).

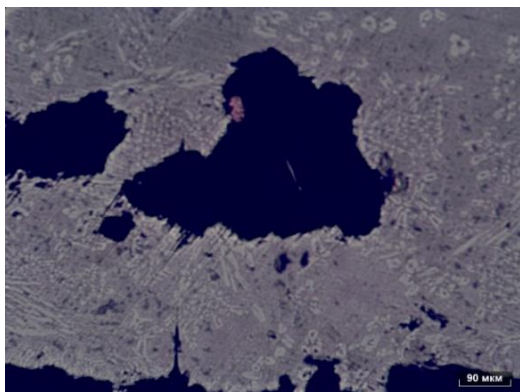


Рис.1 – Структура наплавленного слоя электродом Т-590 с добавлением модификатора более 10%

Для анализа степени эффективности предложенной технологии проводили комплексные исследования с использованием оптической (металлографический микроскоп Optika IM-3MET) и сканирующей электронной микроскопии (JEOL JSM-6390LV), микрорентгеноспектрального анализа, а также оценкой микротвердости (микро-Виккерс UIT HVmicro-1).

#### Результаты исследований и их обсуждение.

Важным этапом при разработке новой технологии восстановления деталей является исследование основных закономерностей влияния параметров предложенного метода на работоспособность изделия. Основное внимание уделено зоне проплавления восстанавливаемой детали и переходной от основного металла к наплавленному, так как они являются основными параметрами качества восстановительной рабочей поверхности.

Проведенными исследованиями было установлено, что при наплавке электродом ЦЛ11 без модификатора формируются трещины (рис.2), чего не происходит при вводе детонационной шихты. Наличие присадки снижает температуру жидкой ванны и уменьшает скорость охлаждения металла шва, препятствует охрупчиванию переходной зоны и образованию трещин, которые формируются при наплавке без введения модификатора.

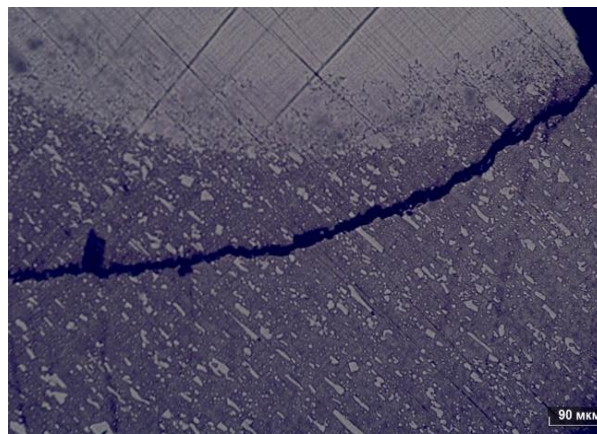


Рис. 2 – Структура восстановленной детали при наплавке электродом ЦЛ11 без модификатора



Таблица 2 – Содержание компонентов при восстановлении электродом Т590 без модифицирующей присадки

Спектр	C	O	Si	Cr	Fe	Ni	Итого
1	7.34	1.34	1.35	19.69	69.64	0.63	100.00
2	6.50	1.61	0.31	11.63	79.63	0.32	100.00
3	6.20	1.50	0.46	10.33	81.51	-	100.00

Микрорентгеноспектральным анализом установлено, что химический состав переходного слоя отличается от основного и наплавленного металла концентрацией компонентов, в частности, углерода, кремния и хрома (рис. 3, табл. 2).

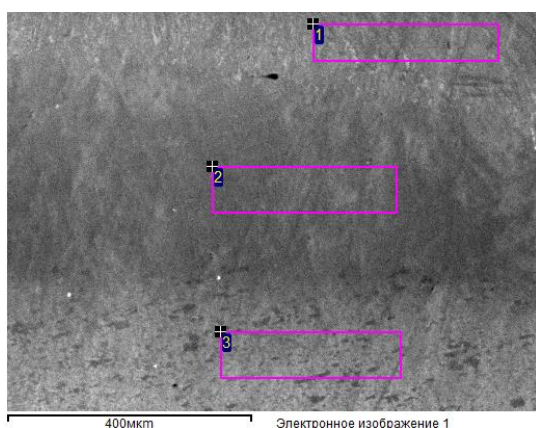


Рис. 3 – Переходная зона при восстановлении электродом Т590 без ввода модификатора

Методом оптической микроскопии выявлено, что введение модифицирующей присадки в 2–3 раза уменьшает глубину проплавления детали и ширину переходного слоя, тем самым снижая долю компонентов основного металла.

Модифицирующая добавка распределяется не только в наплавленном слое, но и в переходном (рис. 4), способствует большей прочности сцепления. Анализом выявлено скопление включений на границе сплавления (рис. 5).

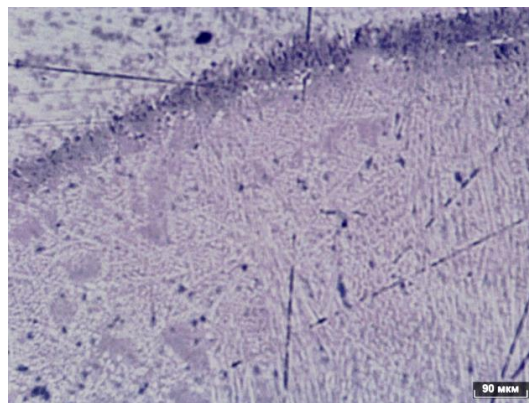


Рис.4 – Структура восстановленной детали при наплавке электродом Т590 с обмазкой модифицирующей шихтой

Химический состав включений, расположенных в переходном слое оценивали на растровом электронном микроскопе JEOL JSM-6390LV при ускоряющем напряжении 15kV (табл.3 и табл.4 (спектр 5 и 6)). Локально выявлены включения, которые содержат C, N, Na, Mg, Al, P, S, Cl, K, Ca, Cr, Fe (табл.3).

Из анализа рис. 5,а следует, что выявленные включения, в основном, представляют собой раздробленные включения карбидов хрома (содержат 12,65–19,45 %Cr). Кроме того, анализ матрицы сплава, приведенный на рис.5, и табл.3, табл.4(спектр 5 и 6) показали, что переходной слой включает компоненты модифицирующей детонационной шихты и значительную долю алмазной фазы. Об этом свидетельствует повышенная концентрация таких компонентов как углерод (20.41–26.84 %C), кислород (8,95 %), сера (0,5 %), хлор (0,91 %), кальций (0,13 %), медь (0,94 %) и др.

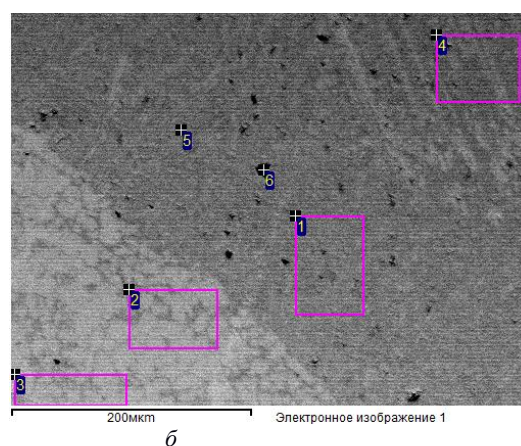
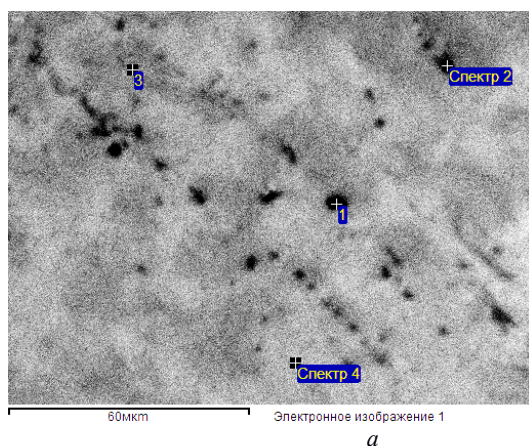


Рис.5 – Включения в переходном слое при наплавке электродом Т590 и их анализ

Таблица 3 – Распределение компонентов в переходном слое (рис.5,а)

Спектр	C	O	Si	S	Cl	Ca	V	Cr	Fe	Cu	Итог
1	13.07	8.95	0.36	0.50	0.91	0.13		13.41	61.72	0.94	100.0
2	9.49	1.31	0.36			0.09		12.65	76.09		100.0
3	9.53	1.38	0.20	0.09			0.23	19.45	69.11		100.0
4	7.25		0.31	0.11				6.80	85.53		100.0

Таблица 4 – Локальное распределение включений в переходном слое (рис.5,б)

Спектр	C	N	O	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	K	Ca	Cr	Fe	Ti	V	Ni	Итог
1	11.48					0.08	0.87		0.09				17.38	69.69	0.04	0.07	0.29	100.0
2	10.58		0.75			0.11	0.36		0.06				10.79	77.11			0.24	100.0
3	11.07		0.80			0.09	0.25		0.04				12.38	75.36				100.0
4	10.42		1.12			0.03	0.91		0.04				17.51	69.69		0.08	0.20	100.0
5	20.41	7.85	-	1.05	0.16	0.32	-	0.11	0.42	0.26	0.33	0.26	14.41	54.43				100.0
6	26.84	2.30	5.11	0.12	-	0.04	0.81	-	0.25	0.12	0.03	1.12	12.44	50.83				100.0

Можно предположить, что из-за небольшой доли наплавочной зоны (до 30мм) в эксперименте летучие компоненты не успели удалиться и вместе с пленочными покрытиями на алмазной фракции локально осели в этой зоне. Вероятно, этому способствует и снижение температуры жидкой ванны при вводе модифицирующей присадки.

Проведены сопоставительные исследования стабильности свойств восстановленного слоя без введения модифицирующей присадки электродами АНО-21, ЦЛ11, Т-590, и с ее использованием. Наплавленный слой электродом ЦЛ11 имеет наименьшую микротвердость, которая достигает 446,7 МПа, что в 1,7 раз ниже чем у основного металла изделия.

Исследованиями установлено, что при использовании электрода АНО-21 без введения модифицирующей присадки формируются зоны с существенным (в 6 раз) падением микротвердости по сравнению с наплавленным металлом.

Лучшие результаты достигнуты при обмазке модифицирующей шихтой электрода Т590. Максимальная микротвердость при нагрузке 0,245N составила 1498,3 МПа, что в 1,5 раза выше чем основного металла упаковочного ножа из стали Х12. Такое модифицированное покрытие имеет на 17% выше микротвердость и износостойкость по сравнению с наплавкой без добавок.

**Выводы.** Предложена технология восстановления поверхности деталей из высоколегированной стали с использованием модифицирования наплавленного покрытия. В качестве модифицирующей присадки использовали немагнитную составляющую детонационной шихты, которая содержит мелкодисперсные и наноразмерные алмазы, а также оксиды. Проведены сопоставительные исследования по двум вариантам восстановления поверхностного изношенного слоя детали с одинаковыми параметрами технологического процесса: без ввода каких-либо добавок электродами

АНО-21, ЦЛ11, Т-590 и с их обмазкой модифицирующей присадкой.

Оценено влияние состава электрода и используемого вторичного сырья на состав и распределение компонентов, качества сварного шва, переходной зоны, а также структуру металла покрытия. Установлено, что при наплавке электродом ЦЛ11 без модификатора формируются трещины, при использовании АНО-21 – присутствуют зоны с существенным падением микротвердости. Наиболее стабильные свойства восстановленного слоя обеспечиваются с введением шихты. Введение модифицирующей присадки в 2-3 раза уменьшает глубину проплавления детали и ширину переходного слоя, тем самым снижает долю основного металла в покрытии.

Установлено, что лучшие результаты достигнуты при использовании электрода Т590 с обмазкой немагнитной составляющей модифицирующей шихты. Предложенная технология обеспечивает повышение микротвердости и износостойкости на 17% при эксплуатации по сравнению с наплавкой без добавок.

#### Список литературы

1. Скобло Т.С., Рыбалко И.Н., Марков А.В. Применение наноалмазов для повышения качества восстанавливаемого слоя наплавкой // *Современные проблемы освоения новой техники, технологий, организации технического сервиса в АПК: материалы Международной научно-практической конференции.* – Минск, 2014. – С.258–261.
2. Задиранов А.Н., Кац А.М. *Теоретические основы кристаллизации металлов и сплавов* М.: Издательство Российский университет дружбы народов, 2007. – 228 с.
3. Гольдштейн Я.Е., Мизин В.Г. *Модифицирование и микрорегионирование чугуна и сталей.* М.: Металлургия, 1986. – 272 с.
4. Скобло Т.С., Романюк С.П., Омельченко Л.В. Исследование влияния способа наплавки на свойства металла восстанавливаемой детали. *Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка.* – Харків, 2017. – Вип. 183. – С. 145–150.
5. Патент Украины №117615, МПК В22Д 19/08, В22Д 19/10. Спосіб підвищення властивостей покриттів модифікаціям при наплавленні / Т.С. Скобло, О.І. Сідашенко, С.П. Романюк, Л.В.Омельченко, І.М. Рибалко, О.О. Гончаренко, В.М. Засць;

- заявник та патентотримувач Т.С. Скобло. – у 2017 01633. заявл. 20.02.17.; опубл. 26.06.17., Бюл. № 12.
6. Патент України № 128982 Спосіб відновлення деталей дисперснозміцнених або зі значним скупченням неметалевих включень сталей / Т.С. Скобло, О.В. Нанка, О.І. Сідашенко, С.П. Романюк, Л.В.Омельченко, О.О. Гончаренко, Є.А. Сатановський, О.К. Олійник, О.В.Марков; заявник та патентотримувач Скобло Т. С. – у 2018 05772. заявл. 23.05.2018; опубл. 10.10.18., Бюл. № 19.
  7. Шелудяк Ю. Е., Кашпоров Л. Я. и др. *Теплофизические свойства компонентов горючих систем.* – М.: 1992. – 184 с.
  8. Skoblo T.S., Romaniuk S.P., Sidashenko A.I., Garkusha I.E., Taran V.S., Taran A.V., Demchenko S.V. Study of degradation mechanism of metal-cutting tools and their hardening by ZrN PVD coatings. *Problems of atomic science and technology. Series: Plasma Physics* (24). – Kharkov, 2018. – No6. – P. 300–303.
- References (transliterated)**
1. Skoblo T.S., Rybalko I.N., Markov A.V. Primenenie nanoalmazov dlja povyshenija kachestva vosstanavlivaemogo sloja naplavykoj // *Sovremennye problemy osvoenija novoj tekhniki, tehnologij, organizacii tekhnicheskogo servisa v APK: materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii.* – Minsk, 2014. – P. 258–261.
  2. Zadiranov A.N., Kac A.M. *Teoreticheskie osnovy kristallizacii metallov i spлавov* Moscow: Izdatel'stvo Rossijskij universitet družby narodov, 2007. 228 p.
  3. Gol'dshtejn Ja.E., Mizin V.G. *Modificirovanie i mikrolegirovanie chuguna i stalej.* Moscow: Metallurgija, 1986. – 272 p.
  4. Skoblo T.S., Romanjuk S.P., Omel'chenko L.V. Issledovanie vlijanija sposoba naplavki na svojstva metalla vosstanavlivaemoj detali. *Visnyk XNTUSG im. P. Vasylenka.* – KHarkiv, 2017. Vy'p. 183. – P. 145–150.
  5. Patent Ukrainy No117615, MPK B22D 19/08, B22D 19/10. Sposib pidvy'shennya vlasty'vostej pokry'ttiv mody'fikavnyyam pry'naplavlenni / T.S. Skoblo, O.I. Sidashenko, S.P. Romanyuk, L.V. Omel'chenko, I.M. Ry'balko, O.O. Goncharenko, V.M.Zayecz'; zayavny'k ta patentoutry'muvach T.S. Skoblo. u 2017 01633. zayavl. 20.02.17.; opubl. 26.06.17, Byul. No 12.
  6. Patent Ukrainy No 128982 Sposib vidnovlennya detalej dy'spersnozmichnenny'x abo zi znachny'm skupchennyam nemetalevy'x vklyuchen' stalej / T.S. Skoblo, O.V. Nanka, O.I. Sidashenko, S.P. Romanyuk, L.V.Omel'chenko, O.O. Goncharenko, YeA. Satanov's'ky'j, O.K. Olijny'k, O.V. Markov; zayavny'k ta patentoutry'muvach Skoblo T. S. – u 2018 05772. zayavl. 23.05.2018; opubl. 10.10.18, Byul. No 19.
  7. Sheludjak Ju. E., Kashporov L. Ja. i dr. *Teplofizicheskie svojstva komponentov gorjuchih sistem.* Moscow: 1992. – 184 p.
  8. Skoblo T.S., Romaniuk S.P., Sidashenko A.I., Garkusha I.E., Taran V.S., Taran A.V., Demchenko S.V. Study of degradation mechanism of metal-cutting tools and their hardening by ZrN PVD coatings. *Problems of atomic science and technology. Series: Plasma Physics* (24). – Kharkov, 2018. No6. P. 300–303.
- Поступила (received) 14.12.2019

#### Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Романюк Светлана Павловна (Романюк Світлана Павлівна, Romaniuk Svetlana Pavlovna)** – кандидат технічних наук, Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка, старший преподаватель кафедри «Технологии материалов», г. Харьков; тел.: (057)716-41–53, e-mail: romaniuk.khntusg@gmail.com.